

複数ロボットによるマルチタスクに対する協調行動獲得

○古木翔大 (北海道科学大) 大江亮介 (北海道科学大) 竹沢恵 (北海道科学大)
三田村保 (北海道科学大) 木下正博 (北海道科学大) 川上敬 (北海道科学大)

近年、様々なロボットが開発され活躍している。しかし、これらのロボットは単体での作業を行うことを想定して作られていることが多く、複数のロボットによる協調作業行動を目的としたロボットの開発はあまり進んでいないのが現状である。本稿では3次元バランシング問題、隊列形成問題及びそれらの複合問題を対象としてニューロコントローラを粒子群最適化を用いて最適化することによって協調行動の獲得を試みる。

1. はじめに

近年、ロボットの開発が飛躍的に進み様々なロボットが生み出され、様々な場所で活躍をしている。しかし、これらのロボットは単体で作業を行うことを想定して作られていることが多く、複数のロボットによる協調行動を目的としたロボットの開発はあまり進んでいないのが現状である。

そこで本研究では、複数のロボットを人工ニューラルネットワークによって制御し、粒子群最適化手法を用いることで行動の最適化を図るといった、進化ロボティクスの手法を適応することによって協調行動を自律的に獲得することを目的としている。

コンピュータ上に仮想物理空間を構築し、自由に傾く平板上に複数の自律移動ロボットを配置、ロボット同士の協調動作により平衡を保ち続けることを目的とする3次元バランシング問題と、自立移動するロボット群に幾何学図形を形成させ、ロボット同士の協調動作により隊列を維持するという隊列形成問題。この2つのタスクを複合した問題を物理制約下におけるフォーメーション形成問題とし、このタスクを解決するような協調行動の獲得を試みる。

2. 自律移動ロボットの設計

ロボットは図1に示すように、1つのボックスの側面に4つの球をそれぞれジョイントで結合している。移動方法はジョイントに目標角速度を与えることにより、左右の球が前方方向へ回転して移動を行う。前後の球には角速度は与えず、回転はフリーなものとしている。また、センサー上部にあるランプは現在のロボットの状態によって変化する。

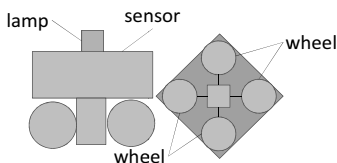


Fig.1 Structure of autonomous mobile robots

3. 進化ロボティクスアプローチ

本研究ではスワームロボットの協調行動を自律的に獲得するために進化ロボティクスの手法を用いる。

3.1 ニューロ・コントローラ

前述のように設計した移動ロボットの行動は各ロボットに搭載されたニューロコントローラにより制御される。毎ステップごとにセンサーから得られた値がニューロコントローラに入力され、出力層から左右の車輪の目標回転角速度が出力される。

3.2 粒子群最適化 (PSO)

上記のニューロコントローラは初期状態ではランダムな結合重み係数値を持っているため適切な行動はとれない。そこで PSO を適用し、結合重み係数値を進化させるものとする。PSO の各粒子の位置ベクトル \mathbf{x} と速度ベクトル \mathbf{v} の更新は次式(1)(2)で行われる。

$$\mathbf{x}_{(t+1)} = \mathbf{x}_{(t)} + \mathbf{v}_{(t)} \quad (1)$$

$$\mathbf{v}_{(t)} = w\mathbf{v}_{(t-1)} + r_1c_1(\mathbf{p} - \mathbf{x}_{(t)}) + r_2c_2(\mathbf{g} - \mathbf{x}_{(t)}) \quad (2)$$

4. 3次元バランシング問題

本研究における、3次元バランシング問題は物理空間上に図2に示すような一枚の平板を設置し、その平板上に複数台の自律移動ロボットが存在する。平板は中央にあるジョイントにより拘束・支持され、ロボットの位置や平板のモーメントにより軸まわりの回転運動を行う。このような環境で複数の移動ロボットが衝突や落下を防ぎながら平板のバランスを保つような行動が問題の解となる。

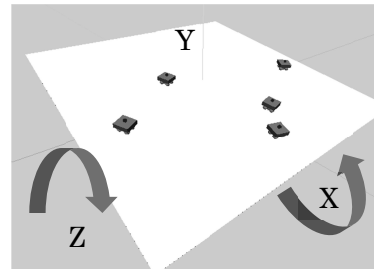


Fig.2 Designed flat board

5. 隊列形成問題

本研究における隊列形成とは、自律移動するロボット群に任意の幾何学図形を形成させ隊形を維持させることとする。本稿では図3のようなライン状の隊列を形成させることとする。

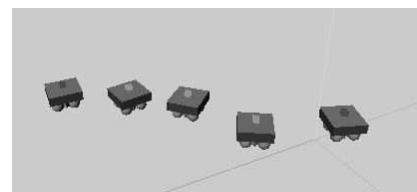


Fig.3 An example of platoon formation

5.1 隊列形成手法

各ロボットはライン形成状態とターミナル状態の2つの状態を持つ。ロボット群の中からあらかじめ2台を選びターミナル機とする。このターミナル機同士を結ぶ直線延長上を隊列形成エリアとし、ライン形成状態のロボットはこのエリア内にとどまることで隊列を形成する。

6. 物理制約下におけるフォーメーション形成問題

物理的制約下におけるフォーメーション形成問題とは、前述の3次元バランシング問題と隊列形成問題を複合させたタスクである。3次元バランシング問題で扱った平板上に自律移動ロボットを配置し、隊列形成問題で形成した一列の

隊列を維持しつつも、ロボット群の協調行動によって平板の傾きを一定に保つというマルチタスク問題である(図4).

本研究では、この問題を解決するために、3次元バランシング問題と隊列形成問題で構築したニューロコントローラを用い、2つのニューロコントローラを統合する統合ANNコントローラを構築することによってこの問題の解決を試みる。

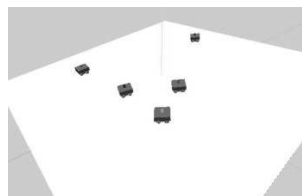


Fig.4 A Formation under the physical constraints

7.1 統合ANNコントローラの構築

統合ANNコントローラは、バランシングANNコントローラと隊列形成ANNコントローラの出力値を入力値とするもので、それぞれのANNコントローラの出力値は、ロボットのホイールへの角速度を出力しているため、疑似的な行動ベクトルとして扱うことができる。これを利用し、バランスを平衡に保つための行動ベクトルと隊列を形成するための行動ベクトルを計算することにより、次にとるべき行動ベクトルを獲得しようというものである。

7.2 行動の評価と最適化

構築した統合ANNコントローラを用いてPSOにより行動の最適化を行った。エピソードにおける試行時間を2,000ステップとした。行動の評価には、平板の傾き具合 θ_{xz} とライン形成状態にいるロボットのラインまでの距離の平均 D_r を用いている(1)。それぞれの評価値は正規化されており0~1の値で入力される。値が0の 때가最も良い状態であり、評価値 F が0に近いほど良好なコントローラといえる。

$$F = \sum_t^{2,000} (\theta_{xz} + D_r) \quad (1)$$

7.3 シミュレーション結果

学習を行った際の評価値の推移を図5に示す。評価値は2世代目で大きく減少し、その後は数世代ごとに減少していき最終的に2,000付近で収束した。学習を終えたANNを用いてシミュレーションを行った。

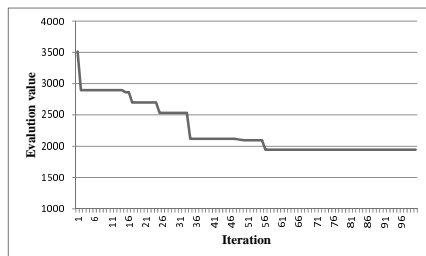


Fig.5 Evaluation value

図6はステップごとのバランス維持と隊列形成の評価の推移を表している。シミュレーションを開始してすぐ平板は大きく傾き始めるが、隊列形成の評価は良くなっていく。グラフィック上で動作を確認するとロボットは一か所に固まるように動いていた。そのため、平板は大きく傾いたが、隊列形成の評価は上がる結果となった。その後ロボットは、

平板の中心付近でまとまって動き回り、平板の傾きやターミナル機の位置などによって行動を変化させながらタスクを達成しようとしていた。

また、初期配置をランダムに変化させシミュレーションを行った際には、3台のロボットが隊列を形成した状態で停止し、他の2台のロボットが平板を平衡にしようと動くシーンも確認できた。これは、ロボット同士が役割分担のような行動をしたと考えられる。

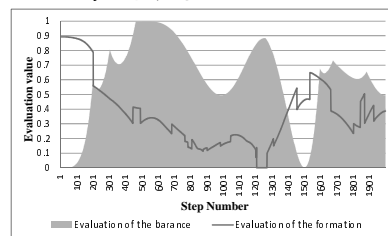


Fig.6 Evaluation value of the formation and balance

7. まとめ

本研究では、スワームロボットの複数の協調タスクに対応できる行動を獲得するために、物理制約下でのフォーメーション形成問題に取り組み、進化ロボティクス的手法を用いることで、協調行動を自律的に獲得させるという手法をとった。

シミュレーションの結果、両方のタスクを達成しようとする協調行動を獲得できたが、どちらか片方の評価が高い時はもう片方の評価が低い、という状態が多く両方のタスクを完全に達成するのはやはり困難であることがわかった。

そのような物理的制約下におけるフォーメーション形成問題においても、ロボット達で役割分担のような行動が見られるなど、ある程度の協調行動を獲得できたのではないかと思える。しかし、精度の面からみると、ロボット同士の衝突によるスタックや、特定の配置からではないとタスクを達成できないなど、まだ問題が多く残っている。

今後の課題としては、評価値やニューロコントローラのパラメータを調節することで現在残っている問題点の解決や、ほかの進化型計算を用いてシミュレーションを行うなどがあげられる。

参考文献

- [1] 岩館健司, 米陀佳祐, 鈴木育男, 山本優人, 古川正志: Animated Robotの研究 - 剛体モデリングツールの開発とその応用 -, 精密工学会誌 Vol.76, No.2, pp.232-237. 2010
- [2] 大川: 物理エンジン PhysX プログラミング, 第二 I O 編集部 (2009)
- [3] 大川: 物理エンジン PhysX アプリケーション, 第二 I O 編集部 (2009)
- [4] 大倉和博, 保田俊行, 松村嘉之, "構造進化型人工神経回路網による Swarm Robotics のための適応的協調行動の生成", 日本機械学会論文集 C 編, Vol.77, No.775, pp.966--979 (2011)
- [5] 藤井 正範: 移動ロボット群のフォーメーション制御, 北陸先端科学技術大学院大学修士論文, 2003
- [6] 大内東: "マルチエージェントシステムの基礎と応用", コロナ社(2002)
- [7] 古川正志: "メタヒューリスティクスとナチュラルコンピューティング", コロナ社(2012)